水稻健康管理研討會 17~32 (2004)

水稻之發育過程與健康管理

盧虎生

國立台灣大學農藝系

摘　　要

水稻是台灣最主要的農藝作物，品質與產量的提昇一直是台灣稻作的研發目標。近年來在生態保育及永續理念的發展下，如何研發更精準有效的栽培策略以培育出衛生、安全及優質稻米產品已成為稻作產業新的挑戰。作物生理是栽培管理的基礎，穩定的生理指標可提升栽培操作的精準性。本篇文章先說明台灣水稻栽培之氣象環境特性，再解釋水稻基本的生育發育期，以葉齡的發育為主軸，利用葉與其他器官之同伸現象可推論其他器官之生長發育情形。研究與實際經驗顯示葉齡是一穩定、觀察容易的生理指標，可以作為栽培管理措施的依據。本文章也提出一農民業者與試驗推廣單位之互動模式，可即時調整適當之栽培操作。本文並說明水稻穎果的發育性質及其與稻米品質間的相關性，說明環境因子對稻米品質形成的影響。這些訊息將提供栽培實作領域作為規劃水稻健康管理策略，培育高產高品質之稻米產品之參考。

關鍵字：水稻、生育期、葉齡、稻米品質、健康管理。

前　　言

水稻仍是目前台灣最重要的農藝作物，隨國家經濟狀態之發展，國內稻作之發展目標由產量轉至品質的提昇。近年來在環境保育永續發展的趨勢下，如何在融合環境保育下培育衛生、安全及優質稻米產品已成為稻作產業新的挑戰。欲達這些目標必須研發精準有效的栽培健康管理策略；而有效的健康管理措施必須以作物生理為基礎。本篇文章即以實用的觀點簡要說明水稻的基本發育生理過程，首先說明台灣的稻作環境特性，介紹基本的發育過程及生理指標的觀測與應用，並說明稻米品質的形成過程與影響因子，期望提供作為規劃精準栽培健康管理策略之基礎。

內　　容

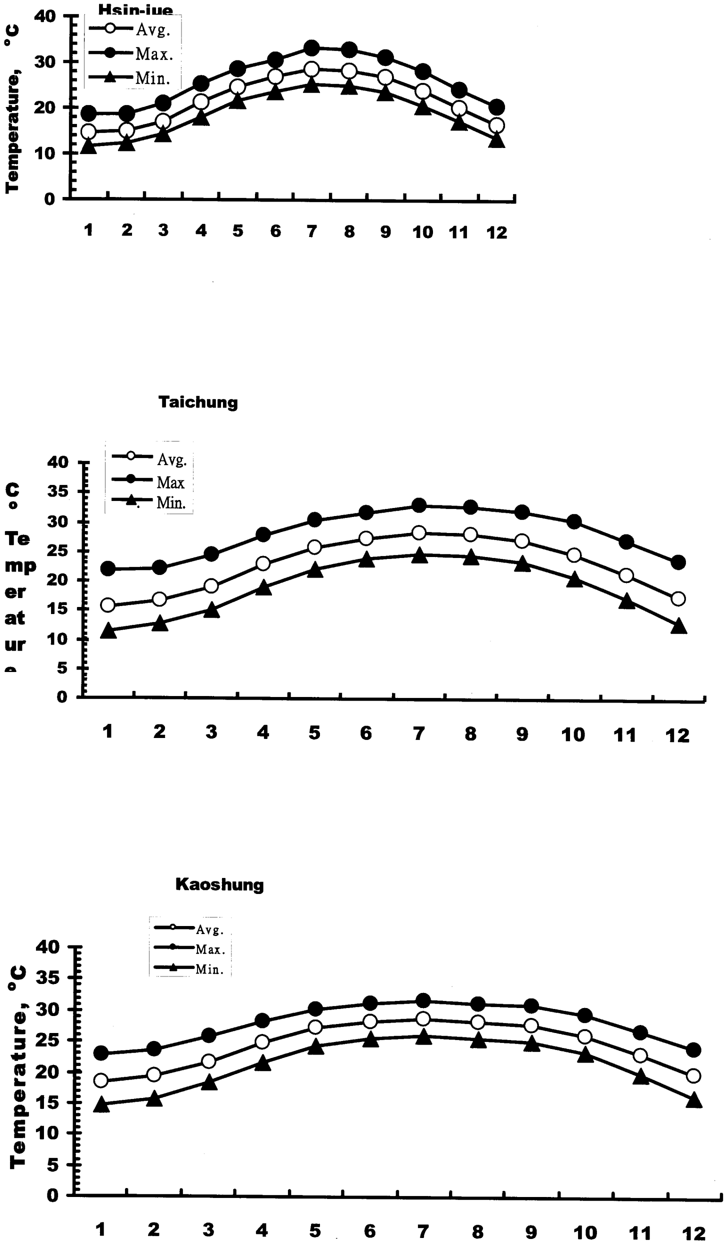
一、台灣的稻作栽培環境[2,9,10,13,14]

臺灣地處亞洲大陸及海洋交接低緯地域(北緯21至26°N)，屬熱帶、亞熱帶交接地域，秈、稉兩型稻皆可適應栽植且爲兩期稻作制，南部甚至可達三期作。栽植期因各地農作時序的不同而異，一期作約二月至六月，二期作則約七月至十一月；台灣南北種植期差異可達一個月以上，水稻營養生長與穀粒充實期間台灣北、中、南、東各區域之氣候條件(溫度及日照)具有相當差異，明顯影響稻米生產量及品質。以溫度爲例，圖一顯示出由1961至1990年，台灣北部(以新竹爲例)、中部(台中)、南部(高雄)地區之30年的月平均、最高、與最低溫度的週年變化。配合水稻在各區域的栽培期觀之，一期作水稻充實期間約由低溫趨向高溫，二期作充實期間則反之由高溫趨向低溫，兩期作的生育環境的截然不同，其中各區域的最高與最低溫甚至已超過稻穀充實的適當溫度(如日本型稻之25/20℃)，尤其以台中以北地區爲甚。以台北1993年一、二期水稻充實期間各月份之每旬平均最高與最低溫度變化爲例，其中一期作之最高溫與二期作之最低溫已達“傷害(30℃以上、18℃以下)”穎果發育的程度(中央氣象局資料)。台灣這些環境變異性質均可明顯影響水稻的生產與品質，必須要加以重視。

台灣地區栽培之水稻品種大多爲稉型稻，生理學上屬於溫帶型水稻。世界其他代表性稉稻栽培地區如日本、韓國、加州、澳洲及大陸東北多處於北緯或南緯30°以上，其稻作生長期處於4月至10月之間，其氣候條件爲高積溫、高日射強度、日夜溫差大，適合稉型稻之產量與品質性狀之發展。比較之下，台灣地區一、二期稻之生育環境處於低有效積溫、低日射強度與日夜溫差小之環境，如要達到高產量尤其是高品質之目標，必須在育種及栽培技術上更加努力，方能提升我國稻米在國際市場之競爭力。

一般而言，如台灣之亞熱帶氣候不利溫帶型稉稻生長的環境爲：

1.高溫：超過30℃的高溫可降低C3型光合作用活性、降低花粉的稔性，增加米粒白堊質，進而降低產量與品質(本研究室試驗結果)[7]。



圖一、台灣北部(以新竹為例)、中部(台中)、南部(高雄)地區之 30 年(1961~1990)的月平均、最高、與最低溫度的週年變化[14]。

2.日夜溫差小：在台灣一期作的穀粒充實期間往往日溫超過30℃，夜溫也在25℃以上，導致呼吸作用高而光合作用低之現象，養分供應較差，穀粒充實潛力較弱。

3.日照較低：高緯度溫帶地區，其穀粒充實期間日照時間長、日照強，因而累進光能較亞熱帶地區爲佳，穀粒充實潛力高。低日照強度也將造成成熟期延遲，稻米蛋白質(鹼溶性及醇溶性)增加等現象(本研究室試驗結果)。

基於以上的因素，使得臺灣地區所生產出的稉米與國際其它地區所生產者具有若干之差異，如米質較軟及白堊質較高等。改善此種現象的基本方式爲品種改良，由近年來的新品種外觀看來，心腹白程度逐漸下降，似乎已逐漸克服環境上的障礙，也暗示我國育種家已逐漸在新品種上累積(gene piling)適應亞熱帶的基因群了。

二、產量構成要素

以農藝的眼光而言，作物的生理發育過程也是其「產量構成要素」的形成過程。作物的栽培管理以達到最佳的產量構成要素組合爲目標，因此需要瞭解水稻的產量構成要素：

單位面積產量=(株數/面積)×(穗數/株)×(充實粒數/穗)×(重量/粒)

產量的形成是由以上四個項目的乘積所組成，四個項目間具有互補的效應，受品種、栽培環境所影響，理想的栽培管理策略是在各個栽培環境下，選擇最合適的品種及栽培操作技術，產生最佳的構成要素組合。但所謂的條條道路通羅馬，在最大的產量下各要素之間可以不同，栽培管理者可依自己的經驗調整栽培方法達成之，這就是農藝學中的「藝術」之所在也。產量構成要素的組合是由品種與栽培環境交感下形成的，各品種、栽培區域及栽培方法間會產生相當的差異性，研究人員或農民業者必須在自己的栽培環境下以實際“試驗或觀察”找到最適當的組合，幾乎沒有投機的捷徑。

產量構成要素是經由發育過程所形成的，要掌握構成要素的變化必須先瞭解水稻的發育過程，說明如后。

三、水稻基本生育型[16,17]

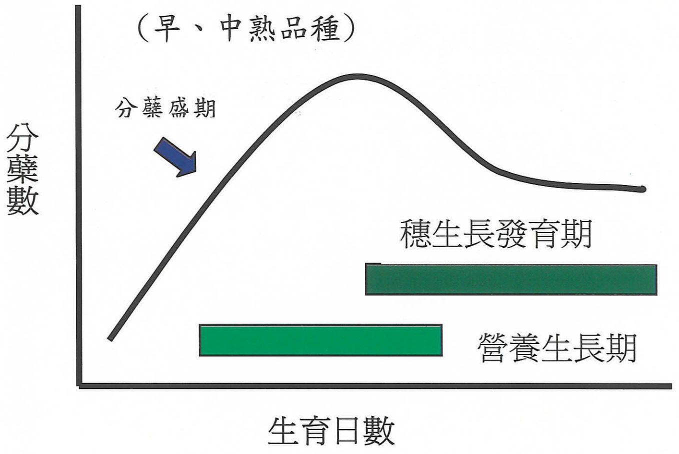
有效的栽培管理必須以精確的生理資訊爲依據。目前我國在水稻栽培方法上之推廣資料多以水稻植株之生育日數爲依據，在台灣各栽培區域氣候條

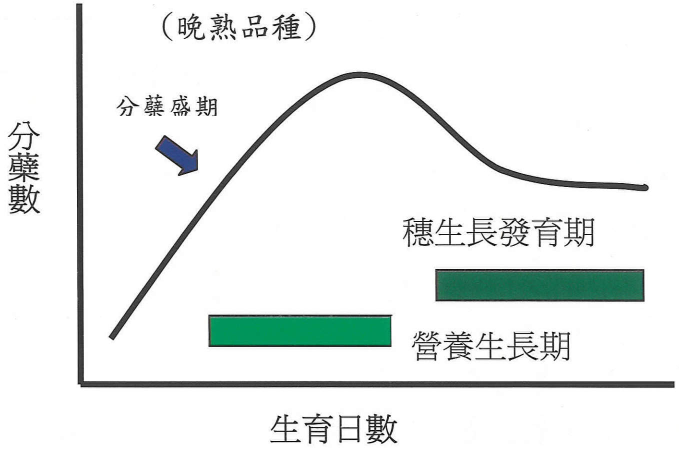
件變異性大的情形下，各品種之生長狀態差異顯著，因此依生育日數所推算之栽培措施恐無法精準掌握該品種之確實發育狀態。

一般而言，依照植株發育時「營養生長期」與「生殖生長期」之重疊與否，水稻之基本生長型可大致分爲兩類(如圖二)：重疊型與非重疊型。一般之早熟品種屬於重疊型，其「營養生長期」中後期與「生殖生長期」前期重疊;晚熟性品種之生長期長,其營養生長期(分蘗發育)中後期與生殖生長期(穗發育)之間具有相當之時間差，可稱爲營養生長遲滯期(vegetative lag period)。至於中熟性品種則介於兩類型之間，其「營養生長期」與「生殖生長期」之重疊性短於晚生性品種。由於我國對現行的品種缺乏相關的研究資料，因此難以確認各品種確實之生育類型。如果僅以觀察之生育日數推論，類似「緊早」約90天左右的品種屬於重疊型，而其他品種多在120天左右，可能屬於中熟性重疊性品種，至於各品種重疊期的長短如何，必須在各栽培區以實際試驗調查之。

在栽培管理上，「營養生長期」與「生殖生長期」之重疊與否可直接影響產量與品質的形成。對於非重疊型，營養生長期的施肥措施(如增加有效分蘗之蘗肥)不易影響生殖生長期之發育；對於重疊生長期而言，營養生長期的施肥過量即可能造成營養生長過盛、無效分蘗增加、株高過高、穗發育不整齊等現象，降低產量及品質。例如台灣栽培的「越光」，由於具有光週期敏感性，其生長期由原在日本之中晚熟型在台灣成爲早熟性品種，可能表現出相當之重疊型習性，在栽培管理上顯得非常敏感，稍不留意，容易造成營養生長過盛，容易倒伏(節間伸長過高)，及稻米蛋白質過高等不良現象。

較遺憾的是，台灣對此類基本的生理研究相當缺乏，對現行的良質米品種幾乎沒有相關的資訊可循，造成難以規劃精準的栽培管理策略，極需吾人重視。


（早、中熟品種）
分蘗盛期
分蘗數
穗生長發育期
營養生長期
生育日數


（晚熟品種）
分蘗盛期
分蘗數
穗生長發育期
營養生長期
生育日數

圖二、水稻之基本生長型

四、水稻生長發育期[5,16,17,18]

水稻生長顯著地受品種與環境所影響，需要一個可靠的指標作爲栽培管理的依據。以國內常用的所謂“插秧或移植後天數”來表示發育時期並不可靠。由於每個品種所能發育的葉數通常是固定的，目前最常用的生理指標是「葉齡」。水稻葉齡發育與其他器官之發育具有所謂的“同伸(同步發育)”現象，藉由葉片的發育狀態可推測其他重要器官的發育情形，進而掌握產量與品質形成的動態。因爲葉片的生長可用肉眼觀察，可以方便的用以觀察與掌握稻株在田間的生育階段與時期。

依葉齡與其他器官之“同伸”現象，一般有下列的原則[5,18]：

(總葉數÷2)=分蘗盛期之葉齡 (此期爲有效蘗肥之作用期，以13葉品種爲例，13÷2=6.5，大約在6到7葉齡左右)

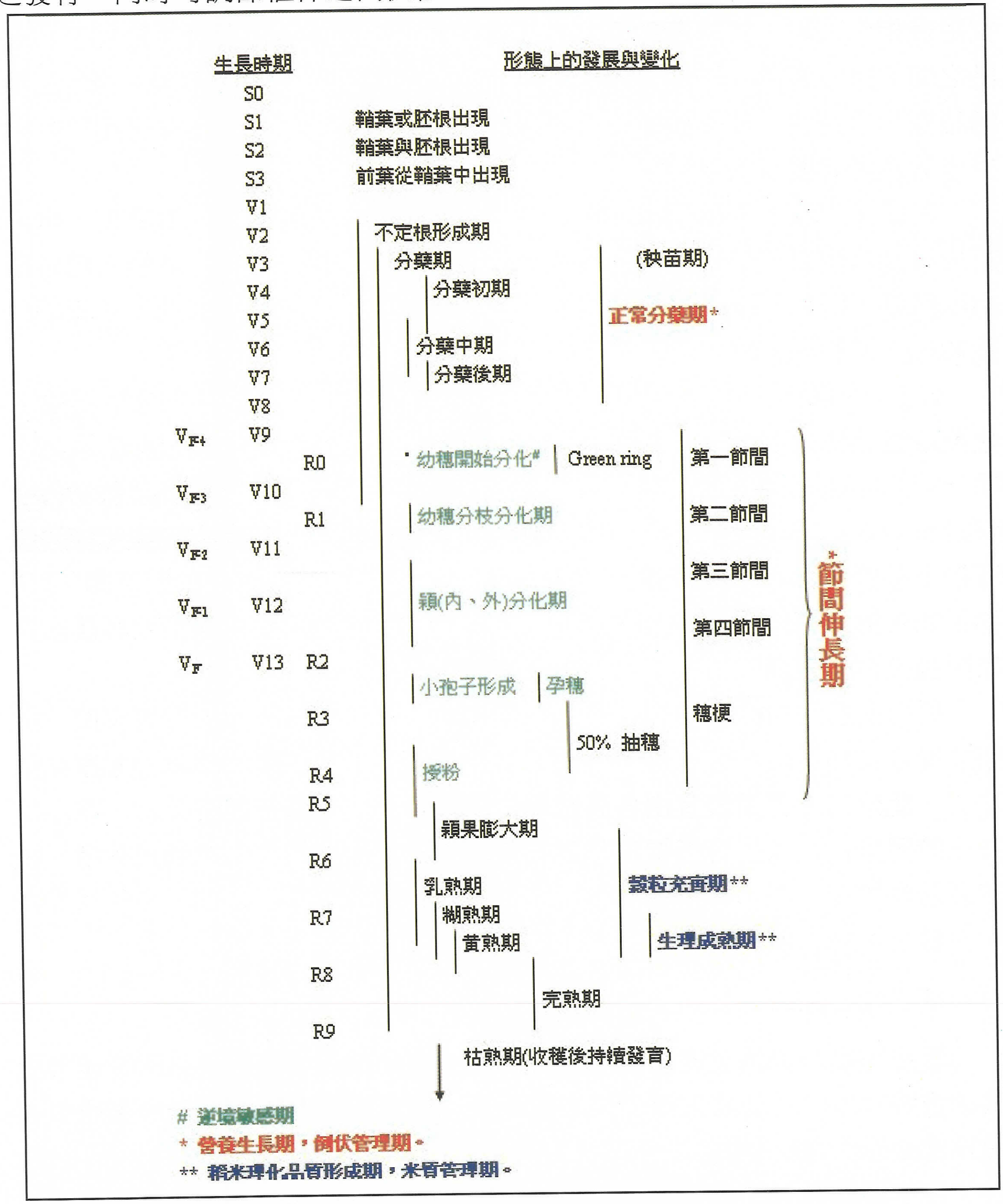
(總葉數÷3)=生殖生長期伸長之節間數 (由劍葉節間向下計算，此期爲株高及倒伏管理之關鍵期，13÷3=4.3，即生殖生長期時倒數第四節以上之節間將伸長，13-4=9，約在9葉齡時株高將開始抽長)。

(總葉數-4)=幼穗開始發生期。(此期之後爲穗肥管理之關鍵期，13-4=9，約9葉齡左右將進入幼穗發育期)

由以上之推算可知節間伸長期與幼穗發生期相當接近，穗肥施用過量或過早將發生株高過高容易倒伏之危險。此葉齡的推算理論也可用以推展至根部的發育，進而管理根部的健康發育。

圖三爲一具有13葉片之品種的完整生長發育期。整個生育期可大致劃分爲S (種子萌芽期)、V (營養生長期)及R (生殖生長期)，其中V期以發育之葉數爲依據，R期以穎果之發育程度爲依據。由於台灣是秧苗移植制度，因此以三葉齡幼苗移植後已達到V3期，其後依發育之葉數記錄爲Vn (即爲葉齡)，劍葉抽出後爲V13期。依器官同伸現象之研究，V3到V7期是分蘗期，決定有效分蘗數，即產量構成要素中之“有效穗數”。在V9至V10葉齡時也正是幼穗發生期，因此也同時進入生殖生長之R0時期。由此V9期(第9葉齡，可用肉眼看到)可作爲是否施用穗肥之一個決定時期。由V9到V11期同時也是R0到R2枝決定穗上穎花數目的重要時期，此時期決定了產量構成要素中的“每穗穎花數

目”。同理自V9期開始也進入主要節間的伸長期(直到R4之穗節伸長期)，是決定株高與倒伏性的重要時期，因此施肥及其他栽培操作是否適當不但影響穗之發育，同時可調節植株之倒伏性。



圖三、水稻生長發育期。(翻譯及修改自 Counce *et al.* 2000)

國內對此類的調查研究相當缺乏，尤其對目前的良質米品種幾乎沒有資料可供參考。筆者得知僅農業試驗所稻作研究室對其台農71號(益全香米)作過小幅的研究(賴明信博士提供)。依其資料顯示台農71號之生育期發展與本文附表相當類似，其總葉數爲14，其實際觀察之幼穗分化期發生於10至11葉齡之間，與前述14-4=10之結果相當，而且一、二期作之變化不大，顯示出葉齡指標的穩定性。農業試驗所並將以此葉齡爲基礎之管理之觀念應用於益全香米的栽培管理模式中[15]。

在環境生理上，R02到R4期是植株對環境最敏感的時期，對溫度、水分及逆境最爲敏感，是防止逆境最關鍵的時期。自幼穗伸出後，其發育已可用肉眼觀察，因此可不再以葉齡觀察，而可以穎果發育狀態爲依據。此時期也是稻米品質的形成期，決定稻米的理化性質，將再下一節中說明。

R02到R4期是稻株在環境也是對肥料最敏感的時期。一如前文中提過，臺灣地區品種大多屬於營養生長期與生殖生長期重疊型，生育氣溫越高(如二期作前期)此重疊性越高。使用於營養生長期的氮肥稍爲過多，將導致幼穗生育過盛，穗上二次支梗過多，穗重過重但米質不佳(一般二次支梗上之米粒發育較不整齊且口感品質較差)，且易於倒伏及感染穗稻熱病。因此建議，“重穗不如齊穗”，在基肥後是否施用追肥必須謹慎，宜利用葉色觀察及與農試專家討論後再決定施肥方式，以此也可累積實作經驗。

利用上述的稻株生長發育表，可清礎的判定稻株在田間的生育程度，進而實施適當地栽培操作。但一精確的生長發育表須要依實際的試驗觀察結果建立，此類的生育期表宜由各農試單位於品種育成時進行觀察分析，在品種推出時同步推行以生育指標爲基礎的栽培管理模式，供業者或農民參考。依筆者訪察所知，如美國、日本與大陸東北等具規模生產之區域，多利用如葉齡指數之生理指標作爲栽培操作之依據，值得吾人思考。

五、建立整合性的生育與栽培管理系統

理想的栽培管理系統必須融合科技與田間實務經驗，一般田間實作業者很難進行科學上的分析，因此須要配合農試單位提供科技上的動態資訊，作爲精準栽培管理之依據。

以下依據臺灣的現況，提出一各互動式的整合架構供參考：

(一)氣象資訊觀測 (氣象局或各區改良場)

1.由區域氣象觀測站收集積溫、日射量、降雨等即時資料。

2.提供氣象預測。

(二)作物生長資訊、預測及精準栽培模式(改良場所提供)

1.提供品種基本生育期表,及栽培操作策略。

2.建立參考觀察田。提供及時生育觀察資訊。

3.提供參考田區即時生長期觀察資訊,依據氣象資訊進行重要生育期如開花期、抽穗期預測。

4.建立葉色板、葉綠素計、甚至NIR輻射(或遙測)等科學化偵測技術,並據以建立各品種之精準栽培模式。

5.設立資訊站,與業界互動提供上述資訊及栽培輔導。

(三)農民業者

1.提供各自田區生育觀察資訊,依據生育期及預測資訊進行有效的栽培操作。

2.回饋田間觀察資訊,與農試單位共同修正栽培管理策略。

3.建議有心的業者設立自己的小區觀察田,在此田區內進行小型的品種生育觀察試驗,配合本文章的說明,將可歸納出屬於自己的最佳栽培技術。

(四)資訊交流方式

利用網路資訊迅速互動交流,未來更可配合生產履歷系統進行。

六、稻穀生理發育期[2,7,8,12]

若欲提高稻米品質,必須先對水稻之穎果的生長發育過程有所瞭解。在抽穗授粉後不久,水稻穎果內之胚囊細胞開始分裂,大約10天內,胚的型態已經完成,並且有足夠的發芽能力。在胚乳方面,最初的胚乳細胞核內在授粉後數小時內開始分裂,產生許多游離狀態的核,核懸浮在細胞質鞘(cytoplasmic sheath)中,被許多液泡包圍著。接著在授粉後約10天,大部分的核會經由細胞分裂發育成細胞狀(cellular),同時開始進行澱粉、蛋白質、礦物元素及脂肪等營養儲存成份的累積。從授粉後10天至最後穀粒發育成熟,由於儲存物質的累積,所以細胞逐漸增大,胚乳的鮮重也隨之增加,最後達到收穫的重量。一般而言在授粉後的10天以內,種子內的細胞數目已經確定,

其對各種營養成份的累積潛力也大致確定了。此外，以禾穀類作物而言，其胚乳細胞核DNA會發生endoreduplication的現象，水稻胚乳細胞核在胚乳發育期間，核與核仁的體積顯著擴大，其DNA含量並未保持原本預期的3C基因體組狀態，在受粉後8天，達到30℃，在受粉後10天的胚乳細胞最高可以達到74℃，因此稻米內也含有相當豐富的核酸物質可供開發。

在水稻穀粒的發育過程中，水分含量會先迅速上升再逐漸降低，收穫時達到約25%~30%左右，而澱粉和蛋白質的總量則會逐漸上升。胚乳為穀粒最主要的構成組器官，其乾重的增加主要歸因於澱粉的累積，其餘則爲蛋白質等。在開花後4~5天時，胚乳內已經開始有澱粉粒的累積；而在受粉後7天的胚乳內可以明顯的觀察到蛋白質體(protein body)的構造，此時蛋白質與澱粉的比例約爲1:7，惟蛋白質的分布並不平均，在胚乳周圍細胞(糊粉層)其蛋白質體的含量較高。在授粉後11天時，澱粉粒的增加速度遠大於蛋白質。在14天時，澱粉的含量已達成熟胚乳的80%，在授粉後21天時的胚乳蛋白質的含量達到最大值。至於脂肪的累積較澱粉及蛋白質晚。在大約30天時，各種營養成分累積大致完成，乾重累積已達最大值，水分含量降至30%以下，稻米之產量與品質已大致底定矣！

在水稻開花後約第15天以內，是細胞數目及貯藏性物質最快速累積的時期，此時期也是對環境最敏感的階段。任何的環境與栽培逆境皆可導致稻米發育不良而降低品質。例如在高溫(大於32℃)、低溫(小於15℃)、低日照、栽培行株距過密等環境皆可影響穀粒充實的速率，往往導致心腹白的產生，因而品質下降。

七、影響稻米品質之環境與栽培因子

除品種本身特性的影響外，外界環境如溫度、日照，栽培方式如氮肥等皆是影響稻米品質的主要因子，它們皆可顯著影響到稻米中上述各種化學成份的合成，因而影響米質的好壞。

(一)溫度方面[7,10,11,14]：高溫(高於30YC)或低溫(低於20YC)環境下發育之穀粒具有較高含量的粗蛋白質，可能使米粒經烹煮後質地較硬且較泛黃、不透明；此外澱粉粒因外圍糊粉層蛋白質增加而吸水及膨脹受干擾，進而延長米飯烹煮時間，最後導致食味值之降低。在低溫環境下蛋白質中的

醇溶性蛋白質及鹼溶性蛋白質合成量皆會增加，因而可能造成粗蛋白質含量增加，導致食味口感降低。此外，低溫尙可促進直鏈性澱粉合成酵素之活性，增加直鏈澱粉的含量而不利於食味。本研究室的研究結果顯示台灣品種之稻穀發育合適溫度宜介於30~25YC之間，發育中以乳熟期(開花後10~15天)對溫度最爲敏感。光合作用生理的研究也顯示，水稻爲C3型作物，超過30YC氣溫將使光合作用下降，而呼吸作用持續上升(尤其是夜間呼吸作用)，導致淨光合作用下降，穀粒發於不良，白堊質與不充實率升高而米質下降。台灣地區位處亞熱帶，日夜溫差較小，一期作後期(穀粒發育期)及二期作前中期(幼穗發育期)常處於高溫及日夜溫差小之環境，不利稻作之淨光合作用，養分提供能力降低，損害稻米品質。

此外，在全球環境變遷中，平均氣溫升高溫及異常溫度發生頻率增加似乎是短期間難以避免的趨勢，台灣地區也難以避免。配合目前政府的休耕措施，栽培業者較沒有每年種植兩期作的時間壓力，正可嘗試再調整每年的栽培時期，以避開穀粒充實期的高溫(第一期作)或低溫(第二期作)。

(二)日照強度與栽培密度方面[5,9,10,11]：低日照強度(或栽培密度過高)環境下，光合作用受環境抑制，導致乾物質累積減少，進而使穀粒在充實期缺少碳源的吸收而減少穀粒乾重。研究結果顯示在生殖生長期進行遮光處理，則產量減少的情形嚴重(75%的遮光下產量降低55%)。日本的調查發現在穀粒充實期低於14 MJ/m^2 day的光照環境即可顯著地增加白堊質比率，台灣的氣象資料顯示北、中、南、東各區域間的日照環境有相當的差異，但對此光照、品種與品質間的關係研究相當缺乏。依筆者粗估，如高雄地區之一、二期作穀粒充實其經常低於此平均值(高雄多低於13 MJ/m^2 day，1999，高雄農改場吳志文先生提供氣象資料)。

有關光照對稻米品質影響的研究不多，但是日本近年來發生稻作生育期間遭遇“寡日照”的現象，顯著降低品質，日照與食味品質間的關係因而受到重視。研究指出，抽穗期對水稻作遮光處理，會影響其理化特性，日本與的研究指出，遮光處理下，穀粒的千粒重下降，外觀品質變差(白堊質米粒增加)，穀粒內蛋白質含量與直鏈性澱粉含量增加，食味(如：黏度等)下降。本研究室的試驗結果也顯示50%的遮光可提高越光及

台稉9號稻米中約1/3以上的粗蛋白質含量，而且越光的反應較台稉9號敏感，因此越光對栽培密度可能也相當敏感。此外，栽培密度過高(移植之苗數/叢)過高可造成抽穗期延長，穗(穀粒)發育不整齊等現象[9]。

栽培密度可顯著的影響產量構成要素的形成及產量，其也是影響稻米品質的主要因子。一般而言較低密度之疏植可增加葉冠內的通氣性，降低病蟲害的感染機會；但是低密度栽培也可能增加單株稻株的分櫱數，這些分櫱間之穗的成熟度較不整齊，造成碾米品質之不均勻，因而降低市場價值。

(三)氮肥效應[1,2,3,4,8,6]：水稻的氮肥施用研究有如過江之鯽，一般大多認爲施用氮肥過多，易造成營養生長旺盛，植株軟弱，稻葉變寬、柔軟且下垂，葉色過於濃綠，且植株易遭受病蟲害之侵襲。又或在水稻節間伸長期時，植株吸收過多的氮肥，會造成節間伸長，植株過高，而使得稻株重心升高而易於倒伏。

氮肥對品質方面的研究也不少，一般認爲氮肥管理是良質米栽培最重要的操作。過度的氮肥施用可降低稻米的食味。研究指出當氮肥施用於基肥(B)、最大分櫱期(MT)、幼穗分化期(PI)時，對稻米蛋白質含量影響不大，但於開花時再多施加氮肥，卻可顯著提高產量及穀粒中的蛋白質含量，顯示出氮肥施用的時間對稻米品質具有決定性的影響。隨氮肥的施用增加，會使胚乳蛋白質體的形成增加，醇溶性蛋白質及鹼溶性蛋白質的含量也會增加，其中以醇溶性蛋白質對氮肥施用的反應較爲顯著。由於醇溶性蛋白質的含量與米飯的口感呈負相關，進而降低稻米的食味品質。此外，稻米中之Mg/K當量比值也可受高溫而降低，且台稉9號較越光爲敏感[8]。綜合國內外氮肥效應的研究顯示其可能是影響品質最主要的栽培因子，因此無論國內外皆將氮肥管理列爲良質米栽培的重要管理策略。

基於氮肥對產量及品質形成的重要性，又因氮肥可顯著促進葉綠素的形成，國際間多以葉色觀察分析表示植株的含氮狀態，此葉色可利用葉色板、葉綠素計值(SPAD)、甚至於光譜反應值來觀測分析，並據以進行氮肥施用管理之依據。目前的研究結果大多支持其可行性，但若需要

在台灣落實執行，必須具有適合我國品種的實際資料作爲檢量分析基礎(calibration)，此方面猶待研究人員之努力來完成。

結　　語

作物產量與品質的形成是由品種、栽培環境及栽培技術交感融合而成的。各個從業農場或田區皆具有其特殊性，必須以實驗的精神去尋求各栽培田區最佳的品種與栽培模式。本文提供了相當的學理基礎及實際的建議，期望對有心建立精準栽培管理策略之業者(尤其是低農藥栽培者、無農藥栽培或有機栽培者)產生相當的幫助。

引用文獻

1. 王伶如。1995。氮肥對稻米儲藏性蛋白質之影響。國立台灣大學農藝系碩士論文。
2. 林韶凱、盧虎生。2004。稻米品質之形成與蛋白質之功能。科學農業 53:76-83。
3. 洪梅珠、簡配如、盧虎生。2000。米飯食味特性與白米醇溶性及鹼溶性蛋白質間相關之研究。台中區農業改良場研究彙報67:1-10。
4. 洪梅珠、盧虎生、簡配如。2003。米飯質地特性與白米鹼溶性及醇溶性蛋白質間相關之研究。台中區農業改良場研究彙報80:41-49。
5. 徐一戎、邱麗瑩。1996。寒地水稻：旱育稀植三化栽培技術。黑龍江科學技術出版社。
6. 許愛娜、宋勳。1989。稻米理化性與食味關係因子分析。臺中區農業改良場研究彙報25:43-53。
7. 黃基倬、盧虎生。2000。穀粒充實期間溫度對穀粒米質之影響1.溫度處理對產量構成要素、穀粒碾米性狀、及理化性質之影響。中華農學會報(新)1: 370-38
8. 陳秀惠。2000。稻米中鈣、鎂、鉀、直鏈性澱粉及粗蛋白質含量之變異。國立台灣大學農藝系碩士論文。
9. 陳烈夫、魏孟麗、鄭統龍、廖大經、陳正昌、曾東海、劉大江。1996。台灣水稻產量的一些問題。pp 79-88。台灣稻作生產改進策略研討會專刊。台灣省農業試驗所特刊59號。
10. 稻津　脩。1990。米品質の作物學。良食味品種の特性の栽培。日作紀59:611-615。
11. 簡珮如、盧虎生、朱鈞。1997。栽培時期對稻米貯存性蛋白質之影響。中華農藝7:333-342。

12. 簡珮如、盧虎生、朱鈞。1997。稻米貯藏性蛋白質性質與品質改進。科學農業45:200-2。
13. 張孟基、朱玲慧、蔡瑞珍、廖惠雅、林順福、盧虎生。2002。國內、外稻米分級、與理化性質之分析與品種DNA鑑識。穀物品質研討會論文集。pp.81-99。中國農化學會。
14. 盧虎生。1999。溫度對水稻穀粒充實發育及稻米品質的影響。環境與稻作生產：第七章。pp.105-119。中華農業氣象學會。
15. 賴明信、李長沛、曾清山、黃惠娟、陳治官、顏信沐。2003。益全香米(臺農71號)在中部地區生產之探討。農業試驗所技術服務53(3):7-11。
16. De Datta, S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley and Sons Inc., New York.
17. Stansel, J. 2001. The rice plant- its growth, development and yield, Version 1.0. Texas Rice Research Foundation.
18. Counce, P.A., T.C. Keisling and A.J. Mitchell. 2000. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Science 40:436-443

Physiological Development and Healthy Management in Rice

Huu-Sheng Lur

Department of Agronomy, National Taiwan University

Abstract

Rice is the most important agronomic crop in Taiwan. Improvements of quality and yield have always been the main objectives of rice culture. In recent years, maintenance of ecology balance and producing healthy and safe quality rice have been becoming more challengeable to rice cultivation. Understanding of physiological processes of rice development should benefit the efficiency of culture management. In the present report we firstly explain physiological developmental processes of rice plant. Using the development of leaves as index, the development of other organs including tillers and panicles can also be predicated. Empirical results indicate that leaf age is a reliable physiological index for culture management. An integrated system between farmers and experimental or extension units is proposed to develop a real time adjustable culture management process. Physiology basis for rice caryopsis development and grain quality formation is also explained in the context. Researches indicate that temperature, light intensity and nitrogen are major factors crucial to rice quality formation. The proposed information is expected to be helpful to establish a practical and efficient culture management system for rice farmers or related industry participants.

Key words: rice, culture, development, growth stage, leaf age, grain quality.